紅壤稻田生產力改進試驗[1]

李 子 純[2]

摘 要

為尋求提高紅壤生產力進一步改進之可能方法，以採自桃園縣楊梅鎮之低產紅壤及另一採自桃園縣新屋鄉之產量較高的紅壤母質冲積土與一採自屏東縣內埔鄉之酸性粘板岩冲積土（對照用）共三種酸性土在溫室盆栽水稻。處理共分三類，即1. 改良土壤物理性及肥力者（內含六處理，為施用稻草，或穀殼，或加施矽礦滓或石灰者）。2. 改進土壤微量要素狀況（內分六處理，即分別施用 B, Cu, Mn, Mo, Zn 及全部施用者）及3. 抑制土壤鐵、鋁毒害（內分施用二氧化錳、白雲石粉及排水等）合計十七處理，重複三次。盆栽試驗自68年二期作開始，至69年二期作止，共進行三作，所用土壤未曾換新，即同一土壤連續種植水稻三作，但第三作為餘效試驗，各處理除三要素肥料外，其他不施。

本試驗三作水稻產量顯示增加紅壤水田生產力的最佳處理為施用稻草或穀殼，兩者中又以前者（增產16—23%）效果優於後者（增產 5—35%）。當施用稻草或穀殼時如再同時施用矽礦滓或石灰，產量並不能再行提高。

植物分析結果顯示稻草或穀殼的施用所導致的最明顯差別為植物含鉀及矽酸量的增加：施用稻草（5t/ha）使紅壤中生長的稻藁含鉀量增加 19%；施用穀殼（10t/ha）使其矽酸含量增加72%。紅壤中所含鉀及矽酸本偏低，補充此二要素對水稻生長當有幫助，而統計分析結果也顯示水稻產量與稻藁中矽，鉀含量有顯著正相關關係。但由施用稻草或穀殼又再加施矽礦滓時，稻藁內鉀或矽酸含量雖更提高（矽酸含量由4.5—6.7%提高為5.6—7.3%，仍屬偏低）水稻產量却未因之相對增加，知稻草或穀殼對水稻之效果並非完全在此。又由產量構成要素知此二處理增產之主要因素為每穗稔實粒數的提高。則稻草或穀殼的施用除能補足此二要素外，或更能促進土壤微生物的活動，將養分貯存於土壤，待水稻生長後期再行釋出供水稻吸收利用。

又本試驗微量要素處理中，鉬的增產效果較大，雖其效果不如施用稻草或穀殼者，但相當穩定，而且鉬的施用量少，可與肥料同時施用，簡單易行，唯此項效果需進一步證實。

前 言

紅壤（即磚紅壤）為熱帶至亞熱帶高溫多雨氣候下長時期發育形成的土壤，其一般特性為酸性強，有機物含量低，鹽基（如 Ca、Mg、K、Na）含量低，而鐵、鋁氧化物含量特高。且其所含植物養分如氮、磷、鉀、矽及微量要素（除鐵外）也低，土壤微生物的繁殖環境也較差[8,9]。

本省紅壤稻田面積約有五萬公頃（紅壤母質冲積土除外）[6]，約佔全省稻田總面積的八分之一，皆為雙期田。紅壤稻田生產力向較其他土壤為低，如能提高其產量，對糧食增產將大有助益。過去關於改良紅壤稻田生產力方面之研究，主要採取石灰[1]、磷肥[2]、含矽材料及有機材料等[3,4,5]之施用，均產生顯著效果，但仍無法大幅度提高水稻產量。本試驗

1.臺灣省農業試驗所研究報告第1032號。本研究承國科會獎助，謹此誌謝。
2.本所農化系副研究員。

擬以綜合改善土壤理化性及巨，微量營養因子之方法，探查紅壤生產潛力進一步改進之可能性。

試 驗 方 法

一、試驗用土壤：

共三種，其中兩種採自桃園：一為採自桃園縣楊梅鎮水稻產量原很低的紅壤；一為採自桃園縣新屋鄉產量較高的紅壤母質冲積土。另一為採自屏東縣內埔鄉的酸性粘板岩冲積土，作為對照。

二、盆栽試驗：

本試驗在本所溫室進行，自68年二期作開始，共植水稻三作。每盆用土15公斤，每處理重複三次，所設處理如下：

1. 改進土壤物理性及肥力：

（1）對照區（CK）：僅施三要素肥料， N100ppm, P_2O_5 50ppm, K_2O 80ppm（以下各處理三要素用量相同）。（2）稻草（St）：加稻草 5t/ha，每盆 30g，將乾稻草切斷至 4—5cm 長後，混入土壤。（3）稻草＋爐滓（StSg）：加稻草及爐滓（3t/ha），每盆爐滓加入量為 18g。（4）稻草＋石灰（StL）：加稻草及石灰（3t/ha），每盆石灰加入量也為 18g（用 $Ca(OH)_2$）。（5）爐滓＋穀殼（SgH）：加爐滓及穀殼（10t/ha），每盆穀殼用量為 60g。（6）稻草＋爐滓＋穀殼（StSgH）：各項添加量如上。（7）穀殼（H）：每盆 60g。處理（2）至（7）均於挿秧前一個月將稻草或穀殼等加入後開始浸水。

2. 改進土壤微量要素狀況：

（8）硼（B）：施硼砂 (Borax) 20kg/ha (120mg Borax/pot)。（9）銅（Cu）：施硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）20kg/ha（120mg $CuSO_4 \cdot 5H_2O$/pot）。(10) 錳（Mn）：施硫酸錳（$MnSO_4 \cdot H_2O$）50kg/ha（300mg $MnSO_4 \cdot H_2O$/pot）。(11) 鉬（Mo）：施鉬 114g Mo/ha。每盆用鉬酸銨 1.26mg。(12) 鋅（Zn）：ZnO50kg/ha，每盆用 $ZnSO_4$ 595mg.。(13) 硼＋銅＋錳＋鉬＋鋅（Total micronutrients）：依（8）—(12) 處理用量全部施入。

3. 抑制土壤鐵鋁毒害：

(14) 二氧化錳（MnO_2）：施 MnO_2 2t/ha，相當於 12g/pot.（15）白雲石粉（Dolomite）：加 Dolomite 2.5t/ha，相當於 15g/pot.（16）排水：自試盆下側出口控制排水量，每日排水 1cm 左右，排出的水以塑膠瓶盛裝，於次日傾入原盆，以避免養分流失。(17) 綜合處理：按處理（6）及 (13) 的量將稻草、爐滓、穀殼及微量要素等加入。本處理三作中第一作未排水，二、三作則每日排水一公分。

三、生育調查

挿秧後每二週調查水稻株高及分蘖數，至抽穗期止，收穫後記錄其穗數、穗重、稔實率、千粒重及穀、藁重量。

四、土壤及植物分析

（一）土壤分析方法：自各地採回作盆栽試驗之用土（均屬 20cm 內之表土）於風乾混

勻後，採取土樣約 1kg ，磨細（除機械分析用土經 2mm 篩別外）經 1mm 篩別後，裝入塑膠罐作下列土壤分析：

1. pH：玻璃電極法，土壤：水＝1：1 。2. 機械分析：Hydrometer 法。3. 全氮：Kjeldahl 法分解後，以 Sodium hypochlorite 法比色測定。4. 有機質：土壤加重鉻酸鉀及硫酸作用後，以比色法測定。5. 陽離子交換能量（CEC）：NaOAc 置換法[11] 6.交換性鈣、鎂、鉀：pH7.0 1N NH_4 OAC 法。7. 有效性 P、K ：有效磷用 Bray's P_1 法；有效鉀用 Mehlich 氏法。8.有效矽：Imaizumi 及 Yoshida 法[12]。9. 交換性鋁：以 1N KCl 抽出後，用 Aluminon 法比色測定[12]。10.有效性鐵、錳、銅、鋅：以 0.1N HCl 抽出後，用原子吸光儀測定。11. 活性鐵（Free Fe）：用 Asami & Kumada 氏法[10]。12. 易還原性錳（Easily Reducible Mn）：用 Sherman 氏法[16]。

（二）植物分析方法：

收穫後之稻藁，於風乾記取其重量後，每盆各抽取一半，將其置於 70—75°C 烘箱內繼續烘乾24小時，然後將全株磨碎，裝入塑膠盒，作下列各項分析：

1. 氮：樣本經 Kjeldahl 法分解後，比色測定（與土壤同）。2. 其他要素：樣本經乾灰化後，加鹽酸溶解稀釋至定量，矽酸以重量法，磷以 Vanado-molybdate 法，其他要素均以原子吸光儀或焰光儀測定。

試驗結果及討論

一、土壤性質：

三種試驗用土壤之性質列於表 1。

表1 試驗用土壤性質

Table 1. Chemical properties of the experimental soils

Soil	pH	CEC me/100g	O. M. %	Total N %	Free Fe %	Easi. redu. Mn ppm	% Sand	% Clay	% Silt	Texture
紅壤	4.69	14.9	2.70	0.132	2.07	25	20.6	28.2	51.2	CL
紅壤母質冲積土	4.70	12.5	2.85	0.147	1.94	14	38.6	14.2	47.2	L
酸性粘板岩冲積土	4.58	11.1	2.70	0.179	1.25	34	22.6	14.2	63.2	SiL

Soii	Available			Exchangeable				0.1N HCl ext.			
	P	K	SiO_2	Al	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn
	ppm			me/100g				ppm			
紅　　壤	14	55	49	2.99	2.58	0.52	0.30	278	28	2.8	2.8
紅壤母質冲積土	24	48	44	1.39	2.50	0.84	0.21	254	78	5.0	6.3
酸性粘板岩冲積土	72	38	39	1.95	2.34	0.58	0.16	270	42	4.4	5.5

各土壤之 pH 及有機物含量均極接近，陽離子交換能量（CEC）則以紅壤較高。全氮含量以酸性粘板岩冲積土最高，紅壤最低。活性鐵含量以酸性粘板岩冲積土最低。土壤質地以紅壤最細，所含粘粒百分率較其他二土壤高出一倍。紅壤所含有效磷最低，交換性鋁最高。有效矽酸的含量三種土壤相近，都很低，均在 50ppm 以下。

在 0.1N HCl 抽取性 Fe、Mn、Cu、Zn 四種微量要素中，Fe 的含量三土壤相近，Mn、Cu 及 Zn則均以紅壤為最低。

二、水稻產量

本試驗自68年二期作開始，至69年二期作止，共植水稻三作。其中68年二期作係植於戶外（當時本所溫室尚未建好），其餘二作則植於溫室。三作所用土壤未曾換新，即同一土壤連續種植三次。其中前二作各處理均按試驗方法內所述者加入改良土壤之稻草、穀殼等。但69年二期作為餘效試驗，除三要素肥料外，其他完全不施。

三作稻穀產量列於表 2，茲將結果依期作分述如下：

1. 68年二期作

（1）在對紅壤之各處理中，以排水及施用稻草二處理效果最好，分別增產20及16%，其次為施鉬者，增產10%，雖此等處理效果很好，但因本期作重複間差異大，故變方分析結果仍為不顯著。（2）在紅壤母質冲積土中，增產最多的處理為施MnO_2 者（增產13%），但屬不顯著。（3）在酸性粘板岩冲積土中，以施 Mn 及排水處理效果最好，分別增產13及12%。

2. 69年一期作：

本期作為本試驗中結果最好的一作，三土壤中處理間差異均達顯著平準。

（1）在對紅壤的處理中，僅排水處理為十七處理中唯一未獲增產之處理。前作中該處理產量最高，本作得相反結果，或係由於二期作時初期溫度高，土壤還原快，不利於初期生長之水稻，故排水使其增產。一期作無此需要，且排水處理因排水量不易控制，常有滲漏水溢出，部分養分流失，以致其產量反較其他處理為低。

對紅壤的處理以改良其物理性及肥力者效果最好，增產率在23—35%之間。其中以單獨施用穀殼的處理效果最好，而當穀殼與爐滓同時施用時，產量反較單施穀殼者少。稻草單獨施用效果亦明顯，增產23%，如與石灰合施，增產更達30%。

施用微量要素的處理中，Cu、Mn、Mo 及 Zn 均使水稻產量增加，其中以 Cu 及 Mo 的效果較好，達顯著平準。

MnO_2 在本期作中效果很好，增產20%，達極顯著平準。

（2）本期作中對紅壤母質冲積土效果最好的處理爲施穀殼，施稻草或施鉬者。但效果均不如紅壤中所得者。

（3）對酸性粘板岩冲積土也以施穀殼者產量最高，增產22%，其次爲稻草加石灰者，增產11%，分別達極顯著與顯著平準。又本土壤施用白雲石的減產也頗明顯。

3. 69年二期作：

本期作爲餘效試驗，各處理僅施三要素肥料，其他不施。

（1）在對紅壤的處理中，仍以改良土壤物理性及肥力的處理產量最高，但穀殼或稻草的餘效均不如前期作好，單施穀殼的餘效更低（增產 4 %），單施稻草的處理仍有12%的增產。同時施用稻草，穀殼及爐滓的處理餘效較好，增產19%。在微量要素的處理中，單施任一微量要素的增產率均低，顯示其餘效很少。二氧化錳及排水仍有 9 及 7 %的增產。但本期作所有處理效果均未達統計上之顯著平準。（2）在紅壤母質冲積土，本期作各處理均無明顯殘效。（3）對酸性粘板岩冲積土的處理以施穀殼者最好，施 Cu 者次之，增產率分別爲17及11%。

4. 各處理在紅壤中對水稻產量的影響：

此等處理本係針對生產力低之紅壤稻田而設，連續三作種植水稻的結果也顯示各處理對紅壤的效果均遠較其他二種土壤爲大。

圖 1 爲改良紅壤物理性及其肥力的各處理與對照區在三作中水稻產量的比較。此圖顯示施稻草或稻草加爐滓的兩處理在三作中水稻產量均極接近，第一作時增產約15%，第二作（繼續施用稻草 5t/ha）增加24%，至第三作餘效時又減爲13%，增產趨勢穩定而合理。又僅施穀殼或穀殼加爐渣的兩處理也與前述情形相若，在三作中增產率很接近，每作中增產趨勢也與施稻草者情形相同，僅其餘效較施稻草者低。由此可見稻草及穀殼之施用對紅壤稻田增產很有效，且在施用此等物質時無需再行添加石灰或爐滓。

表 2　稻穀產量及產量指數

Table 2. Grain yield and yield index

處理	紅壤						紅壤母質冲積土						酸性粘板岩冲積土					
	穀產量						穀產量						穀產量					
	68年2期		69年1期		69年2期		68年2期		69年1期		69年2期		68年2期		69年1期		69年2期	
	g/pot	Index	g/pot	Index	g/pot	Index	g/pot	Index	/potg	Index	g/pot	Index	g/pot	Index	g/pot	Index	g/pot	Index
1 O	71.0	100	60.9	100	70.1	100	103.9	100	68.6	100	74.8	100	83.7	100	67.5	100	68.9	100
2 St	82.1	116	74.8	123	78.2	112	86.2	83	72.3	105	74.4	100	69.7	83	71.0	105	71.0	103
3 StSg	81.1	114	76.3	125	79.2	113	94.0	91	69.8	102	71.3	95	69.9	84	69.1	102	66.0	96
4 StL	61.9	87	78.9	130	77.2	110	87.0	84	68.3	100	59.8	80	71.4	85	74.9	111	62.0	90

5	SgH	74.5	105	75.3	124	73.6	105	99.5	96	73.9	108	74.7	100	69.7	83	75.4	112	63.4	92
6	StSgH	68.4	96	79.1	130	83.3	119	108.4	104	73.4	107	78.4	105	69.1	83	70.6	105	65.1	94
7	H	74.9	105	82.0	135	72.7	104	98.7	95	75.8	111	70.2	94	73.4	88	82.2	122	77.0	117
8	B	73.7	104	63.2	104	72.0	103	109.6	106	70.4	103	69.9	94	78.6	94	68.9	102	68.4	99
9	Cu	63.8	90	72.0	118	73.4	105	93.5	90	67.9	99	73.5	98	88.4	106	71.6	106	76.8	111
10	Mn	67.7	95	66.0	108	71.5	102	107.9	104	68.3	99	70.5	94	82.6	99	68.4	101	70.4	102
11	Mo	78.2	110	68.2	112	72.9	104	96.4	93	72.7	106	73.4	98	94.4	113	69.1	102	69.0	100
12	Zn	71.6	101	64.8	107	70.8	101	93.4	90	67.1	98	70.0	94	71.8	86	66.2	98	69.6	101
13	Total Micro.	72.7	102	68.8	113	75.8	108	91.2	88	70.7	102	75.2	101	85.3	102	74.0	110	76.5	111
14	MnO_2	70.3	99	73.3	120	76.6	109	117.2	113	70.2	102	76.3	102	88.1	105	68.3	101	68.3	99
15	Dolomite	52.8	74	62.2	102	71.0	101	87.2	84	36.4	53	64.5	86	84.0	100	52.0	77	66.4	96
16	Drainage	85.3	120	56.5	93	74.7	107	92.7	89	68.2	99	76.6	103	94.0	112	56.7	84	60.6	88
17	StSgHt+ T. Micro	73.3	103	72.5	119	74.0	106	93.5	90	63.1	92	75.2	101	74.8	89	63.7	94	59.0	86
平	均	73.2		70.8		74.8		98.3		70.0		72.8		79.1		69.9		68.3	
LSD	5 %	NS		7.28		NS		NS		6.08		NS		17.90		7.31		NS	
	1 %			11.72						9.78				24.14		11.77			

圖 2 為紅壤施用微量要素對稻穀產量的影響。各微量要素中以鉬的增產效果最大，也最穩定。在第一作中其增產率為10%，第二作繼續施鉬的增產率為12%，至第三作餘效時又降為 4 %。其次為銅的效果，但其增產僅見於第二作及第三作中。其他施硼、錳、及鋅的效果均不顯著，也不穩定。

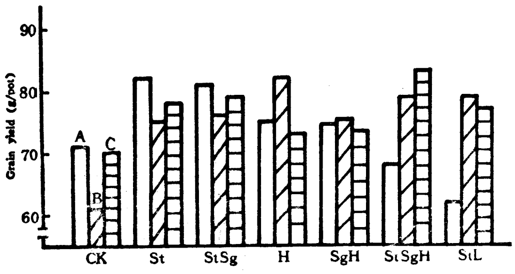

圖 1　紅壤經不同處理後水稻產量的比較

Fig. 1. Effects of different treatments on grain yield in Latosol

A, 2nd crop 1979 ; B, 1st crop 1980 ; C, 2nd crop 1980.

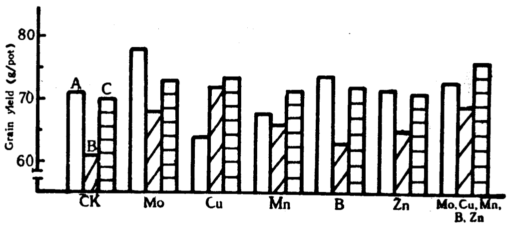

圖 2　紅壤施用微量要素後產量比較

Fig. 2. Effects of micronutrients on grain yield in Latosol

A, 2nd crop 1979 ; B, 1st crop 1980 ; C, 2nd crop 1980.

一般紅壤中微量要素的含量，除鐵外，其他均低，同時酸性反應能促使鉬之有效性顯著減低 [8,15]，故紅壤中施鉬及銅能增產之可能性較大 。 鉬為硝酸還原酵素中的活化劑 (activator) ，缺此則硝酸態氮無法還原成銨態。鉬在微生物固氮作用中也很

重要，故為荳科作物所必需者[14]。其在紅壤中的效果，過去臺灣也僅有荳科作物能增產的報告[7]，對水稻效果如何，尚無資料可供參考。

本試驗中鉬增產的效果雖不如施用稻草或穀殼者大，然鉬之施用量僅為 114g Mo/ha，用量甚少，可與肥料同時施用。故鉬在紅壤中對水稻的效果有進一步研究證實的必要。

5. 稻草、穀殼及鉬之施用對紅壤中水稻之生長及產量構成要素之影響：

本試驗中對紅壤效果最好的處理為施用稻草、穀殼或鉬者，茲將69年 1 期作此三處理與對照處理自插秧後至生長九週時之分蘗及株高繪於圖 3 及 4，以比較此等處理對水稻生長的影響。

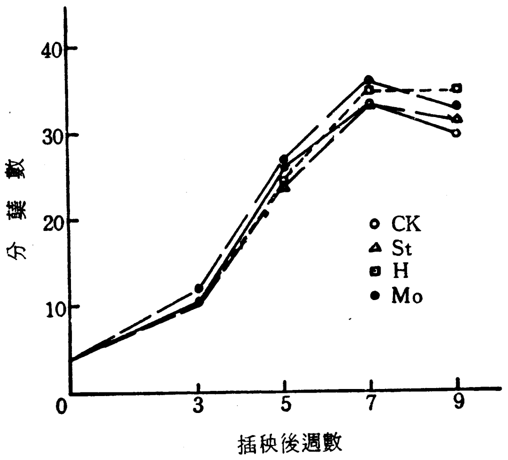

圖 3　稻草、穀殼及鉬之施用對紅壤稻田水稻分蘗數的影響

Fig. 3. Tiller number as affected by the application of straw, hull, and molybdenum.

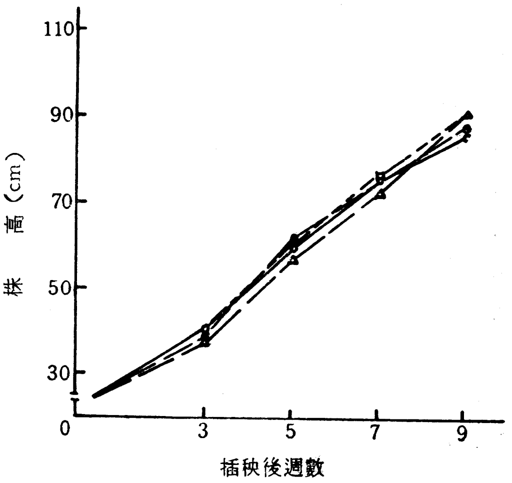

圖 4　稻草穀殼及鉬之施用對紅壤稻田水稻株高之影響

Fig. 4. Plant height as affected by the application of straw, hull, and molybdenum

圖 3 顯示施稻草及穀殼者於插秧後五至七週內分蘗數均略低於對照者，七週後有略優之趨勢，施鉬者則自始即較對照為優。

圖 4 顯示施稻草者於插秧後七週內株高均低於對照，七週後即優於對照，其他施穀殼及鉬等則前七週與對照相近，七週後穀殼者較優。

表 3 為紅壤中各處理水稻產量及產量構成要素（69年 1 期作），此表顯示施稻草，穀殼及鉬之處理穗數與對照相差不多，但每穗稔實穀粒數施稻草或穀殼者卻遠高於對照者。每穗稔實穀粒數決定於水稻生殖生長期及成熟期[17]。由此可知稻草或穀殼之施用有利於水稻後期的生長，但卻略微抑制其初期的生長。此項結果與韓國所得者極為一致，彼等認為水田施用稻草所得之顯著增產效果除物理性者外，係由於稻草之加入使微生物活動增加，將養分貯存於土壤，待水稻生長後期再行釋出供水稻吸收利用[18]。

又由此等資料知施鉬可促進水稻初期的生長，但後期或係由於養分供給不足，致

插秧七週後即有變劣的現象。如與稻草或谷殼合施，其對紅壤的效果應可相得益彰，有繼續研究的必要。

表 3. 紅壤中各處理水稻產量（69年 1 期）及產量構成要素

Table 3. Yield and yield components of rice as affected by different treatments in Latosol

Treatments	Yield (g/pot)		No. of panicle	No. of filled grain per panicle	Filled grain	1000 grain
	Grain	Straw			%	wt.
1. CK	60.9	66.6	28.7	89	87.2	23.8
2. St	74.8	70.5	29.3	107	91.4	23.7
3. StSg	76.3	67.6	26.7	125	93.9	23.2
4. StL	78.9	70.4	29.3	117	91.1	23.1
5. SgH	75.3	68.5	27.3	122	90.6	22.8
6. StSgH	79.1	68.9	26.7	127	92.4	23.3
7. H	82.0	74.3	31.7	121	93.5	21.6
8. B	63.2	65.6	27.7	98	90.7	23.3
9. Cu	72.0	68.6	30.7	99	91.4	23.6
10. Mn	66.0	64.6	30.3	95	92.1	23.1
11. Mo	68.2	65.7	30.3	97	93.0	23.3
12. Zn	64.8	64.5	30.0	84	88.3	26.2
13. Total mic.	68.8	66.6	29.0	101	93.2	23.5
14. MnO_2	73.3	68.1	28.0	108	93.3	24.3
15. Dolomite	62.2	42.1	21.7	119	91.7	24.3
16. Drainage	56.5	59.2	25.0	91	90.2	24.7
17. StSgH+total mic.	72.5	71.3	29.0	113	92.2	23.0

三、不同處理對水稻體內養分含量的影響

本試驗三作收穫後的稻藁，均曾分別作植物分析，分析項目包括巨微量要素共十項。為避免過於繁複，將各土壤三作分析結果的平均值列於附表 1 至 3 。

分析資料中，稻藁養分在不同處理間差異最大的要素為鉀及矽酸。鉀的差異主要來自稻草的施用；矽酸則係由於稻殼、稻草、矽礦滓及石灰的施用。

1. 對含鉀量的影響：影響最大的為稻草的施用，使三種土壤中稻藁含鉀量均顯著增加（圖 5 ），其中以紅壤增加的比率較小（19 %）而在原來含鉀量較低的紅壤母質冲積土及酸性粘板岩冲積土增加率均為 39 %。施用穀殼僅使紅壤母質冲積土及酸性粘板岩冲積土中生長的水稻含鉀量略微增加，增加率分別為 15 及 7 %。對紅壤則無影響。

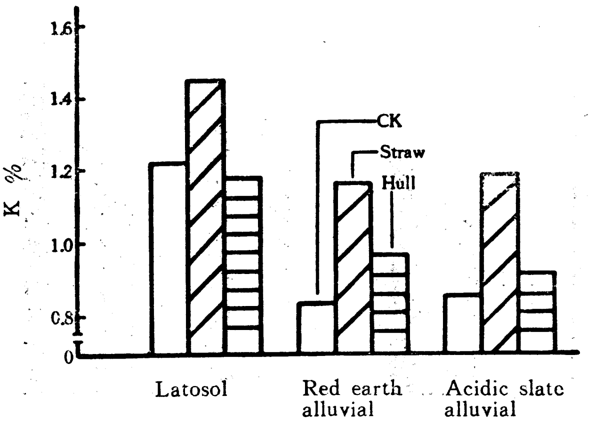

圖5. 稻草、穀殼的施用對稻藁含鉀量的影響

Fig. 5. Potassium content in straw as affected by the application of straw and hull in different paddy soils

2. 對矽酸含量的影響：施用穀殼在三種土壤中均顯著增加了稻藁中的矽酸含量（圖 6），本試驗中所用三種土壤有效性矽酸含量均偏低（39—49ppm SiO_2），又因水稻植於溫室，生長速度較快，稻體內矽酸含量更低。三土壤對照處理稻藁的矽酸含量（三作平均）在3.9—4.8%之間，但在施用穀殼的處理中，其矽酸含量增加為6.7—7.8%，增加率為60—72%。稻草的施用雖也使稻體內矽酸含量增加，但增加量除在紅壤母質冲積土者較高外，其他二土壤中的增加量均遠遜於施用穀殼者。爐渣或石灰的加施更使稻藁內矽酸含量增加。其中施用石灰（$Ca(OH)_2$）可增加矽酸的吸收一點，值得注意。但此等由穀殼、稻草，或爐渣供給的矽酸，餘效甚小，停施後此等處理中水稻矽酸含量也同時降低（表 4）（69年二期為餘效試驗）。表 4 也顯示盆栽試驗中土壤連續種植水稻時，稻體內矽酸含量減低也很快。部份原因應係由於盆栽試驗中水稻收穫係自根部割除，與田間留有水稻殘株不同。在其他測定的要素中，含量減低較明顯的為 Ca 及 Fe，其次為 Mn 及 Cu（資料未列此）。

3. 其他影響：此外較明顯的影響為施用二氧化錳處理中錳含量的顯著增加及施用白雲石粉（Dolomite）處理中 Mg 含量的顯著增加以及各微量要素含量之顯著降低，其中紅壤冲積土與酸性粘板岩冲積土的 Zn 含量降至17及 14ppm，已在缺乏範圍，此或許與該兩土壤白雲石粉處理在69年一期引起收量之激降有關。

四、不同處理對土壤化學性質的影響

在本試驗所植三作水稻收穫後，曾將每盆土壤，以土鑽採取土壤樣本，將同一土壤各處理的三重複置於一處，經風乾，混合，並磨碎（經 1mm 篩孔）後作土壤化學性質分析。目的為明瞭此三種土壤經各種不同處理種植水稻三作後，土壤化學性質的變化。分析結果列於附表 4—6。

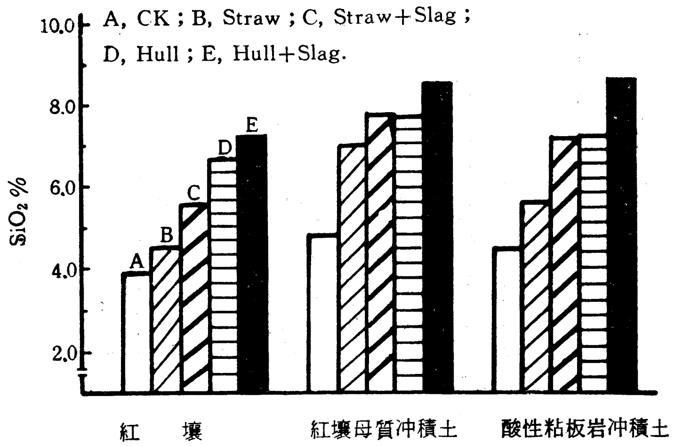

圖6. 稻草、穀殼及爐滓的施用對稻藁矽酸含量的影響

Fig. 6. Silica content in straw as affected by the application of straw, hull and slag.

表 4. 不同處理對稻藁矽酸含量的影響

Table 4. Silica content (SiO_2%) in straw as affected by different treatments

處理 Treatment	紅壤 68年2期	紅壤 69年1期	紅壤 69年2期	紅壤母質冲積土 68年2期	紅壤母質冲積土 69年1期	紅壤母質冲積土 69年2期	酸性粘板岩冲積土 68年2期	酸性粘板岩冲積土 69年1期	酸性粘板岩冲積土 69年2期
1 O	4.25	4.10	3.03	5.44	4.87	4.17	5.35	4.47	3.80
2 St	5.67	4.65	3.12	7.60	8.33	5.20	7.18	5.71	4.08
3 StSg	6.47	6.36	4.05	9.25	8.48	5.76	9.18	7.53	4.95
4 StL	5.85	4.86	4.55	8.17	8.44	6.50	7.33	5.64	5.56
5 SgH	8.34	8.94	4.50	10.17	8.70	6.86	11.55	9.26	5.22
6 StSgH	8.51	9.28	4.67	10.85	9.68	6.57	11.47	10.01	5.49
7 H	7.54	8.71	3.91	8.07	9.16	6.02	9.08	8.46	4.25
8 B	4.47	3.27	3.34	5.37	4.81	4.63	5.26	5.70	4.31
9 Cu	4.76	3.43	3.06	5.35	4.89	3.83	5.20	4.63	3.98
10 Mn	4.31	3.75	3.13	5.15	5.00	4.15	5.38	4.40	3.86
11 Mo	4.59	3.69	2.72	6.27	5.91	4.63	5.41	5.26	3.57
12 Zn	4.31	3.65	3.21	5.51	4.61	3.49	5.39	3.81	4.17
13 Total mic.	5.11	3.81	2.85	6.17	4.82	4.15	5.47	4.45	3.94
14 MnO_2	3.93	3.57	3.51	5.03	4.21	4.18	5.29	4.19	4.31
15 Dolomite	4.32	4.11	4.23	5.55	6.88	5.63	5.07	5.74	5.23
16 Drainage	3.75	5.89	3.41	5.01	6.08	5.14	5.59	5.53	5.28
17 StSgH+Total mic.	8.37	9.96	6.05	9.89	9.63	6.56	11.32	10.93	7.22
Range	3.75–8.51	3.27–9.96	2.72–6.05	5.01–10.85	4.21–9.68	3.83–6.86	5.07–11.55	3.81–10.93	3.57–7.22
Average	5.56	5.44	3.73	6.99	6.74	5.15	7.09	6.22	4.66

1. 由附表 4—6 知石灰、爐滓及白雲石的施用均明顯地提高了土壤的 pH 值。2. 加稻草處理的土壤中有機物及全氮含量略高；但加穀殼的處理則只在紅壤母質冲積土及酸性粘板岩冲積土中有此影響，在紅壤中無增加現象。3. 三種土壤有效性鉀的含量均低（較試驗前土壤有效鉀含量降低很多），尤以紅壤及紅壤母質冲積土更低，平均均為 12ppm，雖然稻藁中含鉀量因稻草或穀殼的施用而顯著增加，但未見土壤中有效鉀因此而累積。4. 有效矽酸的含量除酸性粘板岩冲積土外，在其他兩種土壤中均因施稻草及穀殼而明顯增加，再加施爐渣或石灰的處理增加更為顯著，而稻藁中矽酸含量在第三作餘效試驗時此等增加已不多。是否土壤中存餘的矽酸已不復能被水稻吸收利用？又石灰處理可提高矽酸的有效性一點，與前述稻藁中矽酸含量的增加相符合。5. 土壤中鈣含量因施爐滓及石灰而增加很多；白雲石粉使土壤中鎂含量增加約三倍。

五、提高紅壤水田生產力的可能途徑

本試驗結果顯示增加紅壤水田生產力的最佳處理為施用稻草或穀殼，兩者中又以前者優於後者。當施用稻草或穀殼時如再同時施用矽礦滓或石灰，產量並不能再行提高。

植物分析結果顯示稻草或穀殼的施用所導致的最明顯差別為植物含鉀及矽酸量的增加。紅壤中所含鉀及矽酸本偏低，補充此二要素對水稻生長當有幫助。而統計分析結果也顯示水稻產量與穀藁中矽、鉀含量為顯著正相關關係（相關係數依次為 0.563*及0.579*，以三作平均值計算）。但由加施爐滓能更提高稻藁內矽酸含量而不能相對提高水稻產量知稻草或穀殼增產的原因並非完全在此。

由水稻插秧後分蘗及株高變化的情形及產量構成要素知稻草或谷殼的施用略微抑制水稻初期的生長，却有利於其後期的生長。或係此等物質的加入初期促進土壤微生物的活動，將養分貯存於土壤，待水稻生長後期再行釋出供其吸收利用。

又此等有機物的加入對土壤物理性應亦有影響。有機物對土壤物理性的最大影響在於增加穩定性土壤團粒之形成，並促進微生物的作用。通常有機物含量高的土壤必定團粒好孔隙多，近年來的試驗更證實對土壤團粒的形成，稻草較堆肥效果好 [18]。

本省紅壤水田水稻產量的差異通常很大，據陳氏 1961 年 [8] 在桃園縣大園鄉對三種產量顯然不同的紅壤水田所作調查，其間物理性的差異遠大於化學性者。產量高的上等水田其各層中鐵銹紋或黃灰色斑點最明顯，顯示通氣良好，灌溉水不發生停滯現象；產量低的下等水田則各層中所含粘土量多，排水較困難，即上等田剖面的物理條件，較適合水稻根系的發育，養料的保持及空氣與水分的適度流通。因之本省紅壤稻田的肥力改進也應着重於土壤物理性的改良。

又本試驗微量要素處理中，鉬的增產效果大而穩定，雖其效果不如施用稻草或穀殼者，然鉬的施用量少，可與肥料同時施用，簡單易行，唯此項效果需進一步證實。

参 考 文 獻

1. 步焱昇、張守敬1951農業研究 1（2）：14—25；2（1）：1—31。
2. 林家棻1965石門水庫茶園轉作水田磷效試驗（未發表）。
3. 李子純1971酸性紅壤土壤肥力增進之研究。農業研究20（2）：47—55。
4. 連深1963矽對水稻之效應（第二報），農業研究12（3）：16—28。
5. 黃文良1973石門水庫灌溉區茶園轉作水稻生產抑制因子之研究，農業研究22（1）：25—36。
6. 陳春泉1976桃園縣土壤調查報告，臺灣省農業試驗所報告第33號107—112。
7. 陳振鐸、洪崑煌、魏金塗等1974酸性土壤中施用石灰與鉬素對於大豆收量之影響，中國農業化學會誌12（3、4）：61—71。
8. 陳振鐸1979臺灣磚紅壤之利用與管理48—64，臺灣省土壤肥料學會發行。
9. 郭魁士1977，土壤學626—29中國書局印行。
10. Asami, T., and Kumada, K. 1960. Comparison of several methods for determining free iron in soils. Soil and Plant Food 5 : 179—183.
11. Bower, C. A., Reitemeier, R. F., and Firman, M, 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali. soils. Soil Sci. 73 : 251—261.
12. Imazumi, K., and S. Yoshida. 1958. Edaphological studies on silicon supplying of paddy fields. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. (Japan) B. Ser. 261—304.
13. Mclean, E. O. 1965. Aluminum in 'Methods of soil analysis' pp. 986—993.
14. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano, and W. L. Lindsay. 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. of America, Inc. 366—368.
15. Pearson, R. W., F. Adams. 1967. Soil acidity and liming : 48. No. 12 in the series AGRONOMY, American Soc. of Agronomy, Publisher, Mad. Wis. USA.
16. Shermen, G. D., McHargue, J. S., and Hodgkins, W. S. 1942. Determination of active manganese in soil. Soil Sci. 54 : 253—257.
17. University of the Philippines, 1979. Rice production manual p. 25.
19. Wang, K. O. 1979. Effect of incorporation of organic materials on paddy soils in 'Nitrogen and Rice', 435—450. Intern. Rice Res. Inst., Manila, the Philippines.

附表 1. 不同處理對稻藁礦物元素含量的影響（紅壤、三作平均值）

處理	N	P	K	Ca	Mg	SiO_2	Fe	Mn	Cu	Zn
	%						ppm			
1 O	0.550	0.072	1.220	0.533	0.173	3.924	252	187	3.1	23
2 St	0.523	0.055	1.448	0.549	0.189	4.480	263	191	2.5	22
3 StSg	0.480	0.059	1.414	0.524	0.176	5.627	203	202	2.0	18
4 StL	0.577	0.096	1.403	0.547	0.199	5.090	209	140	1.9	18
5 SgH	0.580	0.056	1.312	0.551	0.184	7.260	225	146	1.9	19
6 StSgH	0.557	0.067	1.517	0.469	0.189	7.487	227	138	2.5	21
7 H	0.560	0.069	1.175	0.547	0.180	6.720	270	163	3.4	22
8 B	0.690	0.072	1.170	0.529	0.189	3.694	245	233	3.0	28
9 Cu	0.703	0.077	1.087	0.539	0.187	3.750	294	201	1.8	25
10 Mn	0.677	0.080	1.121	0.512	0.196	3.730	280	303	2.4	28
11 Mo	0.630	0.071	1.213	0.497	0.186	3.667	305	204	2.4	25
12 Zn	0.630	0.069	1.262	0.554	0.206	3.724	292	227	1.6	34
13 Total micro.	0.647	0.071	1.189	0.540	0.184	3.924	277	273	2.1	30
14 MnO_2	0.560	0.069	1.254	0.527	0.175	3.670	255	1,133	2.0	59
15 Dolomite	0.670	0.074	1.255	0.450	0.332	4.220	191	129	2.6	20
16 Drainage	0.510	0.064	1.303	0.489	0.210	4.350	214	546	2.7	36
17 StSgH+T. micro.	0.487	0.055	1.628	0.435	0.173	8.127	176	321	2.9	25
Range	0.480—0.703	0.055—0.080	1.087—1.628	0.435—0.554	0.173—0.332	3.670—8.127	176—305	129—1,133	1.6—3.4	18—59
Averag	0.590	0.068	1.293	0.518	0.196	4.909	246	279	2.4	27

附表 2. 不同處理對稻藁礦物元素含量的影響（紅壤母質冲積土三作平均值）

處理	N	P	K	Ca	Mg	SiO_2	Fe	Mn	Cu	Zn
	%						ppm			
1 O	0.577	0.102	0.840	0.490	0.195	4.827	220	144	2.7	22
2 St	0.537	0.087	1.167	0.476	0.168	7.044	183	102	3.3	17
3 StSg	0.483	0.082	1.277	0.530	0.168	7.830	166	95	3.7	18
4 StL	0.490	0.081	1.210	0.509	0.179	7.704	185	93	2.6	18
5 SgH	0.473	0.074	1.100	0.509	0.173	8.577	179	119	3.0	22
6 StSgH	0.493	0.077	1.174	0.507	0.177	9.034	203	134	2.8	22
7 H	0.510	0.085	0.967	0.453	0.182	7.750	241	117	2.8	20
8 B	0.510	0.099	0.917	0.513	0.197	4.937	223	152	3.6	25
9 Cu	0.543	0.104	0.967	0.517	0.192	4.690	213	205	3.5	28
10 Mn	0.537	0.103	0.920	0.458	0.187	4.767	213	245	3.7	28
11 Mo	0.550	0.096	0.920	0.469	0.205	5.604	205	211	3.2	26
12 Zn	0.583	0.110	0.927	0.459	0.200	4.537	223	171	3.0	29
13 Total micro.	0.583	0.105	0.814	0.509	0.201	5.047	260	202	3.4	25
14 MnO_2	0.547	0.100	0.864	0.447	0.177	4.474	227	916	3.7	49
15 Dolomite	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16 Drainage	0.417	0.086	0.960	0.424	0.178	5.410	239	234	3.2	27
17 StSgH+T. micro.	0.427	0.066	1.447	0.425	0.161	8.694	198	146	3.3	20
Range	0.417—0.600	0.066—0.112	0.814—1.447	0.424—0.530	0.161—0.333	4.474—9.034	166—260	93—916	2.6—3.7	17—49
Averag	0.521	0.093	1.044	0.475	0.193	6.291	209	200	3.2	24

附表 3. 不同處理對稻藁礦物元素含量的影響（酸性粘板岩冲積土三作平均值）

處理	N	P	K	Ca	Mg	SiO_2	Fe	Mn	Cu	Zn
	%						ppm			
1 O	0.590	0.091	0.856	0.499	0.181	4.540	301	245	4.2	21
2 St	0.577	0.095	1.187	0.505	0.173	5.657	251	231	4.0	18
3 StSg	0.560	0.076	1.108	0.538	0.175	7.220	252	235	3.0	16
4 StL	0.527	0.076	1.108	0.567	0.195	6.177	217	202	2.7	15
5 SgH	0.553	0.085	0.981	0.509	0.178	8.677	247	222	3.7	16
6 StSgH	0.500	0.063	1.262	0.493	0.155	8.990	220	216	1.8	21
7 H	0.547	0.082	0.916	0.494	0.159	7.264	276	178	1.8	17
8 B	0.570	0.087	0.771	0.517	0.181	5.090	266	263	2.4	25
9 Cu	0.560	0.089	0.839	0.498	0.192	4.604	270	297	2.4	24
10 Mn	0.573	0.093	0.824	0.501	0.185	4.547	305	312	2.3	21
11 Mo	0.583	0.092	0.774	0.500	0.180	4.747	350	281	2.0	22
12 Zn	0.630	0.093	0.844	0.579	0.196	4.457	272	293	2.1	27
13 Total micro.	0.590	0.088	0.699	0.540	0.201	4.620	311	349	2.4	31
14 MnO_2	0.587	0.087	0.789	0.503	0.159	4.597	285	965	2.4	33
15 Dolomite	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16 Drainage	0.537	0.082	1.069	0.448	0.183	5.467	273	307	2.5	25
17 StSgH+T. micro.	0.467	0.057	1.525	0.463	0.167	9.824	252	313	2.5	25
Range	0.467—0.630	0.057—0.095	0.699—1.525	0.394—0.579	0.155—0.369	4.457—9.824	168—350	179—965	1.8—4.2	14—33
Average	0.563	0.084	0.983	0.503	0.190	5.990	266	299	2.6	23

附表 4. 不同處理對紅壤若干化學性質的影響

處 理	PH	CEC me/100g	O. M. %	Total N %	Available P (ppm)	Available K (ppm)	Available SiO_2 (ppm)	Exchangeable Ca (Me/100g)	Exchangeable Mg (Me/100g)	Exchangeable K (Me/100g)
1 O	5.15	14.92	2.38	0.118	15	12	48	4.85	1.36	0.091
2 St	5.10	15.10	2.47	0.126	10	16	57	4.69	1.36	0.111
3 StSg	5.80	14.75	2.55	0.122	9	13	157	6.88	1.33	0.104
4 StL	6.30	14.92	2.47	0.120	11	12	139	7.66	1.07	0.104
5 SgH	5.70	14.92	2.47	0.115	9	12	132	6.09	1.33	0.098
6 StSgH	5.50	15.25	2.41	0.121	10	14	114	6.02	1.36	0.107
7 H	5.25	15.00	2.38	0.115	11	13	75	4.84	1.36	0.098
8 B	5.20	13.75	2.33	0.117	13	11	51	4.92	1.26	0.088
9 Cu	5.15	14.12	2.41	0.116	11	12	54	4.53	1.30	0.094
10 Mn	5.15	14.52	2.36	0.119	13	10	52	4.69	1.30	0.085
11 Mo	5.15	14.92	2.41	0.113	11	10	60	4.85	1.36	0.085
12 Zn	5.20	14.12	2.25	0.113	17	10	63	4.84	1.26	0.085
13 Total micro.	5.10	15.00	2.30	0.113	15	10	57	5.31	1.26	0.091
14 MnO_2	5.20	14.92	2.27	0.120	16	10	56	5.16	1.36	0.098
15 Dolomite	6.40	14.92	2.19	0.107	13	11	131	5.16	6.48	0.124
16 Drainage	5.30	14.92	2.36	0.122	23	10	54	4.06	1.22	0.085
17 StSgH+T. micro.	5.70	15.20	2.99	0.115	15	14	130	5.63	1.56	0.098
平 均	5.43	14.78	2.41	0.117	13	12	84	5.30	1.62	0.097

附表 5. 不同處理對紅壤母質冲積土若干化學性質的影響

處理	PH	CEC me/100g	O. M. %	Total N %	Available P ppm	Available K ppm	Available SiO_2 ppm	Exchangeable Ca Me/100g	Exchangeable Mg Me/100g	Exchangeable K Me/100g
1 O	5.20	13.00	2.67	0.128	28	11	64	5.78	1.79	0.072
2 St	5.40	13.00	2.93	0.141	16	12	101	5.47	1.65	0.078
3 StSg	5.95	13.73	3.11	0.147	16	13	164	6.88	1.72	0.091
4 StL	6.50	14.50	3.05	0.150	21	14	190	8.91	1.65	0.098
5 SgH	5.90	14.12	3.11	0.144	15	14	189	6.88	1.69	0.094
6 StSgH	5.85	14.92	3.29	0.162	17	16	184	7.34	1.79	0.101
7 H	5.05	14.00	3.17	0.141	19	13	70	6.17	1.85	0.085
8 B	5.20	12.66	2.75	0.125	27	11	52	5.55	1.49	0.078
9 Cu	5.20	12.25	2.72	0.128	19	11	49	5.55	1.59	0.078
10 Mn	5.20	12.22	2.70	0.120	17	10	54	5.00	1.33	0.055
11 Mo	5.35	12.55	2.58	0.126	21	10	65	5.94	1.53	0.059
12 Zn	5.20	12.50	2.87	0.129	25	11	52	5.16	1.49	0.062
13 Total micro.	5.30	12.22	2.72	0.136	29	10	49	5.78	1.62	0.062
14 MnO_2	5.20	12.11	2.70	0.133	24	11	45	6.17	1.65	0.065
15 Dolomite	7.00	12.75	2.87	0.130	22	12	98	5.78	7.78	0.101
16 Drainage	5.30	12.25	3.02	0.137	37	10	51	5.47	1.39	0.065
17 StSgH+T. micro.	5.95	13.50	2.93	—	22	14	123	5.93	1.49	0.078
平均	5.57	13.08	2.89	0.139	22	12	94	6.10	1.97	0.078

附表 6. 不同處理對酸性粘板岩冲積土若干化學性質的影響

處　理	PH	CEC me/100g	O. M. %	Total N %	Available P (ppm)	Available K (ppm)	Available SiO_2 (ppm)	Exchangeable Ca (Me/100g)	Exchangeable Mg (Me/100g)	Exchangeable K (Me/100g)
1 O	5.10	11.14	2.70	0.154	41	17	35	5.00	1.30	0.075
2 St	5.05	11.49	3.02	0.161	34	16	32	4.69	1.26	0.072
3 StSg	5.95	11.85	2.99	0.157	31	20	165	7.42	1.56	0.078
4 StL	6.70	12.11	2.90	0.153	47	19	115	8.13	1.07	0.078
5 SgH	6.05	11.55	2.81	0.152	61	24	182	6.49	1.46	0.078
6 StSgH	5.95	11.37	2.90	0.151	37	24	131	6.96	1.33	0.091
7 H	4.90	11.14	2.93	0.169	38	16	31	4.69	1.39	0.085
8 B	5.15	11.00	2.87	0.161	67	16	35	5.47	1.39	0.078
9 Cu	5.05	11.00	2.87	0.162	47	15	33	5.24	1.39	0.065
10 Mn	5.05	11.37	2.72	0.162	72	16	30	5.47	1.33	0.078
11 Mo	5.05	11.12	2.70	0.166	45	16	33	5.63	1.43	0.072
12 Zn	5.05	11.36	2.72	0.165	58	16	34	5.70	1.46	0.072
13 Total micro.	5.10	11.30	2.64	0.162	59	14	33	5.63	1.62	0.072
14 MnO_2	5.30	11.20	2.55	0.159	68	14	38	5.94	1.59	0.072
15 Dolomite	6.40	11.50	2.64	0.157	69	12	97	5.16	4.80	0.072
16 Drainage	5.35	11.55	2.81	0.166	49	16	36	5.31	1.14	0.068
17 StSgH+T. micro.	5.80	12.23	3.20	0.177	48	16	92	5.47	1.10	0.078
平　均	5.47	11.43	2.82	0.161	53	17	68	5.79	1.57	0.076

Study on fertility improvement of latosolic paddy in Taiwan[1]

Tze-Shun Lee[2]

Summary

To further improve the productivity of the low-yield latosolic paddy in Taiwan, a greenhouse experiment was carried out from the 2nd crop, 1979, to the 2nd crop, the following year. Three successive rice crops were planted.

The soils used in this experiment were : Two from Taoyuan, a latosol and an alluvial soil derived from the latosolic parent material ; one from Pingtung, an acidic slate alluvial soil, used as the check.

The treatments were divided into three categories ; 1. Those for improving the soil physical conditions and fertility (six treatments were included in this group, i.e., the individual and combined additions of rice hull, fresh chopped rice straw, silicate slag or lime) ; 2. Those for improving the soil micronutrient status (six treatments including the additions of B, Cu, Mn, Mo. Zn and the combination of all) ; 3. Those for eliminating the toxicity of iron and aluminum (three treatments including the applications of MnO_2, dolomite, and a drainage treatment—drainage rate, 1 cm/day). A total of 17 treatments were compared in three replicates. Fifteen kgs of soil were used in each pot, and the pots were arranged in the greenhouse according to the randomized complete block design.

As indicated by the grain yield in these three rice crops, the best treatment for latosol was the application of rice straw (5t/ha) or hull (10t/ha), the yield increase obtained being 16—23% and 5—35%, respectively. The simultaneous appIication of silicate slag or lime with straw or hull did not further increase rice yield.

Plant analysis data showed that the most prominent difference caused by the application of straw or hull were the increases in K and SiO_2 contents of rice straw. These two elements were very low in rice plants grown on latosol, and its supply should thus be beneficial. Statistical correlation study also showed that rice yield were positively and significantly correlated with the levels of K and SiO_2 in rice straw. However, from the fact that the treatments in which silicate slag were applied together with straw or hull did not further increase the rice yield in spite of the resultant further increase in the SiO_2 content of plant, it

1. Contribution No. 1032 from the Taiwan Agricultual Research Institute.
2. Soil Chemist, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.

may be said that the beneficial effect of the application of straw or hull in latosol was not only this. It may also be attributed to the storage of plant nutrients in soil during the early stage of plant growth probably through increased microbial activity and the release of the nutrients in later stage of growth.

Among the micronutrient treatments, that of molybdenum appeared to be the best. Though the yield increase due to Mo application was only 10—12%, far less than that due to straw or hull application, its use can still be justified because the yield effect was rather consistent, the amount needed is small, and it can be applied together with fertillizers. Further study to confirm this result should be conducted.